

# Discussion on Application of High Resolution Images in Urban Water Demand Management

Lu Li<sup>1</sup>, Yuansheng Chen\*, Lei Jiang<sup>3</sup>

Institute of Geographic Sciences and Natural Resources  
Research, Chinese Academy of Sciences  
Beijing, China  
E-mail: chenys@igsnrr.ac.cn

Tian Shen<sup>2</sup>

School of Transportation  
Southwest University  
Nanjing, China

**Abstract**—The application of remote sensing in urban water demand management is all along at blank stage in China. This paper introduced methods to estimate building height through high-resolution remote sensing images and examined the methods by an experiment of a residential area in Nanjing using IKONOS image, which proved that the shadow area method is more accurate than the shadow length method. On this basis, the paper focuses on discussing about the application prospect of high-resolution remote sensing images in urban water demand management. The high resolution images can be used for the quick estimation of water consumption inside buildings, the amount of grey water and reclaimed water that can be used in buildings, and the energy needed for supplying water for buildings. As a kind of supporting information, the estimated data would be helpful for the design of reclaimed water facilities, the site plan of water-intensity industries and the energy saving and emission reduction in urban water systems.

**Keywords**—high resolution image; remote sensing; height of buildings; urban water demand management; application

## I. 前言

在水资源稀缺成为我国许多城市发展瓶颈的今天，城市水资源需求管理通过有效抑制不合理的用水需求、提高水资源的利用效率、优化用水结构等方法成为缓解城市水危机的关键手段之一。在我国，水资源需求管理主要依靠政府水行政主管部门推进和实施。在管理的过程中，管理部门依赖的用水节水数据和信息主要来自水表量测数据、统计数据 and 实地调研数据<sup>[1]</sup>。而实地调研数据的获取需要大量人力、物力的投入，并且数据的精度受到被调查者自行报告的数据的准确度的影响；当基础计量系统不完善或涉及到敏感用水行业时，用水数据的获取会更加困难，这些因素都不利于城市水资源需求管理的有效实施。因此，为了更加有效地进行水资源需求管理，需要引入新的数据获取方法和手段，提高数据获取的及时性、便捷性和准确性，为水资源管理部门科学规划和决策提供可靠的基础信息资料，而瞬时、大范围、低成本的卫星遥感数据恰好符合这一要求。

另一方面，城市作为一个典型的人工水系统，许多的用水行为都发生在城市建筑内部，其用水特征与建筑的行业属性、分布、布局和密度等高度相关；大型建筑和建筑

区的发展更进一步使用水部位和用水行为在空间上呈现密集化的特点，并对建筑给排水设施等提出了新的要求。因此，应用高分辨率卫星遥感图像探究水资源消费与各种地理空间信息、城市建筑信息之间存在的响应关系，对于城市水资源需求管理具有重要意义。

目前遥感数据在水文水利领域的应用已经十分广泛和成熟，例如水文遥感调查、洪涝灾害监测、水质监测、水环境监测和评估等方面<sup>[2-4]</sup>，但在城市内部的水资源需求管理方向却鲜见研究和应用。本文首先介绍了利用高分辨率遥感影像估算建筑物高度的方法，并在南京某小区进行了试验，验证了方法的可行性；在此基础上，着力探讨了遥感影像在城市水资源需求管理中可能的应用方向与应用方法，以期能够促进遥感技术在城市水资源需求管理中的应用。

## II. 利用高分辨率遥感影像估算建筑物高度

利用 SPOT 或 IKONOS 等高分辨率卫星遥感影像能够高效、便捷地提取城市建筑信息，如 IKONOS 可采集 1 米分辨率全色和 4 米分辨率多光谱卫星影像，同时可将全色和多光谱影像可融合成 1 米分辨率的彩色影像。目前，已有许多学者对利用高分辨率遥感影像估算建筑物高度的方法进行了研究。何国金等<sup>[5]</sup>分析了利用图像建筑阴影估算建筑物高度的原理与方法，并应用全色 SPOT 数据对研究区进行了建筑高度估算和分级；董玉森等<sup>[6]</sup>研究了建筑阴影信息自动提取和分析的专家分类系统，并进一步计算出建筑物高度；谢军飞等<sup>[7]</sup>利用 IKONOS 图像计算了北京中关村、天坛公园和北海公园的建筑物高度。

总体而言，利用高分辨率卫星遥感影像估算建筑物高度的方法可以分为三类：利用阴影信息计算；利用简化的卫星成像模型解算；利用近景摄影技术计算。其中，利用阴影信息进行估算的方法研究相对成熟，具体又可以分为三种算法：阴影长度法，阴影面积法，量测本影与落影间距离法<sup>[8]</sup>。本文采用阴影长度法和阴影面积法来计算建筑物高度。

### A. 原理与方法

#### 1) 阴影长度法

建筑物在太阳照射下产生的阴影能够间接反映其三维信息，阴影的长度与建筑物的实际高度之间存在特定关系。如果已知遥感影像拍摄时的太阳高度角、卫星高度角、太阳方位角等一些参数，就可以根据阴影长度反演出建筑物高度。

当卫星传感器与太阳照射方向相同时，建筑物高度按式（1）计算：

$$H = \frac{L_2}{|\cos(90^\circ - \gamma)| \times (\cot \beta - \cot \alpha)} \quad (1)$$

式中， $H$  是建筑物测算高度， $\alpha$  为卫星高度角， $\beta$  为太阳高度角， $\gamma$  为太阳方位角， $L_2$  是遥感图像上直接测得的阴影长，是建筑物本影与落影的差值。

当卫星传感器与太阳照射方向相反时，建筑物高度按式（2）计算：

$$H = \frac{L}{|\cos(180^\circ - \gamma)| \times \cot \beta} \quad (2)$$

式中， $L$  是建筑物本影长度。

公式中的遥感图像阴影长度采用手工量测或计算机半自动化量测。当地形起伏较大时，为了消除地形对阴影长度的影响，可以结合地形数据对影像图进行地形纠正，然后再进行建筑物和阴影的提取，这样在很大程度上可以减少测量误差<sup>[9]</sup>。

2) 阴影面积法

阴影面积法是根据太阳照射时产生的地物阴影面积与阴影长度之间的关系来间接估算建筑物高度，该方法将长度测量转化成面积测量，从而减少了直接测量阴影长度中随机误差对结果的影响。

假设， $S_1$  和  $S_2$  代表建筑物阴影矩形的面积， $L$  是建筑物高度， $m$ 、 $n$  是阴影的宽度， $C$  是阴影图形外接矩形的底边长度，与阴影方向垂直。通过以下推导可以得到建筑物高度的计算公式：

$$S_1 = m \times L, \quad S_2 = n \times L \Rightarrow L = \frac{S_1 + S_2}{m + n} = \frac{S}{c}$$
$$\therefore H = \frac{L}{\cot \beta} = \frac{S \times \tan \beta}{c} \quad (3)$$

其中， $S$  是阴影总面积，能够通过遥感影像分类与矢量化获得。因此，根据式（3）可以实现建筑物高度的半自动计算。

B. 试验区估算

本文选取了南京市鼓楼区虹苑新寓四村、虹苑中学附近的小区作为试验区，根据 IKNOs 的 1 米分辨率全色波段遥感影像，分别利用阴影长度法和阴影面积法计算试验区建筑物高度，并与实地考察得到的建筑物实际高度进行对比和误差分析，为以后的方法选择和实际应用奠定基础。

试验区的纬度范围是  $32^\circ 1' 10'' - 32^\circ 0' 48''$  N，经度范围是  $118^\circ 44' 37'' - 118^\circ 45' 1''$  E；试验区地面平均海拔为 8 米，地形平坦。图像拍摄时的太阳高度角 $\beta$  为  $57.3^\circ$ ，太阳方位角 $\gamma$  为  $-20.5^\circ$ ，在试验区内选择了 14 栋建筑，具体情况如图 1 所示。

在经过图像增强等预处理、影像监督分类、阴影信息提取和格式转换之后，在 ArcGIS 中进行编辑计算。由于所选用的遥感图像在拍摄时的卫星传感器与太阳照射方向相反，因此阴影长度法计算时依据公式（2）；阴影面积法计算依据公式（3）。两种方法的计算结果及误差分析见表 1。

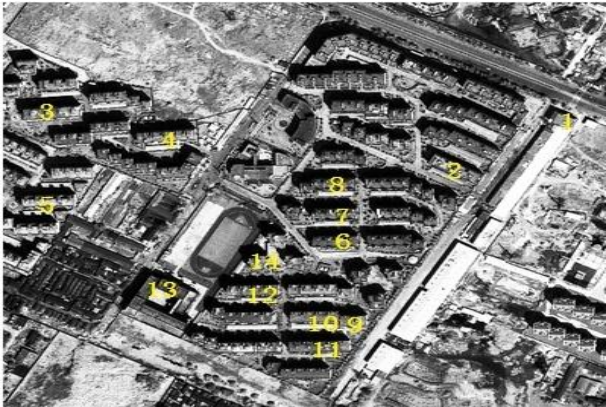


图 1 试验区卫星遥感图

表 1 建筑物高度测算主要参数及结果

建筑 编号	阴影长度法				阴影面积法			
	实际 高度 / m	L/m	测 算 高 度 H/ m	误 差 /%	C/m	S/m <sup>2</sup>	测 算 高 度 H/ m	误 差 /%
1	/	8.75	14.6	/	21.66	144.06	10.4	/
2	18	14.06	23.4	29.9	34.91	450.27	20.1	11.6
3	21	13.90	23.1	10.1	53.01	744.35	21.9	4.2
4	21	14.53	24.2	15.3	55.85	800.57	22.3	6.4
5	21	14.47	24.1	14.6	50.26	633.39	19.6	6.5
6	18	14.22	23.6	31.4	43.67	625.11	22.3	23.9
7	21	15.66	26.0	24.0	44.99	699.96	24.2	15.4
8	18	14.57	24.2	34.6	54.84	769.99	21.9	21.5
9	21	15.57	25.9	23.3	20.54	298.78	22.7	7.9
10	18	12.40	20.6	14.5	43.85	574.81	20.4	13.4
11	21	15.02	25.0	18.9	44.65	651.74	22.7	8.3
12	18	14.12	23.5	30.4	48.87	675.43	21.5	19.6
13	17 .5	12.63	21.0	20.0	32.34	383.45	18.5	5.6
14	24	17.87	29.7	23.8	24.14	394.51	25.5	6.1

由表 1 可知，阴影面积法的计算精度明显优于阴影长度法，最小误差为 4.2%，误差范围在 4%~24%之间；阴影面积法还能够利用 ArcGIS 进行自动计算，应用更加方便

的同时也避免了阴影长度法手工量算阴影长度可能产生的误差。因此,在以后的应用中推荐使用阴影面积法。

### III. 在水资源管理中的应用前景探讨

随着我国城市化水平的提高和城市建筑业的快速发展,建筑内部用水在城市总用水量中所占的比例逐年增高<sup>[10]</sup>。除了园林绿化、生态景观、道路清洗用水之外,城市公共生活和居民生活的大部分用水都发生在建筑物内部,如写字楼、宾馆、机关单位、居民小区、沐浴中心等。而根据笔者在北京市公共生活取水定额的研究和制定工作中的经验,对于公共生活用水而言,建筑面积与取水量存在良好的相关性,如写字楼的用水量与建筑面积的相关系数达到0.9以上,而且被最终确定为该行业取水定额的核算单位。因此,通过遥感技术快速获取大范围的建筑信息,可以为研究用水特征与建筑分布、建筑面积等之间的关系提供技术支持;在掌握了这种关系之后,就可以根据建筑信息来获取相应的用水信息。

#### A. 建筑内部用水量快速估算

利用前文所述的遥感方法获取某建筑物或某一区域内的建筑物高度之后,结合建筑物的占地面积,计算可得总建筑面积。在此基础上,通过数字城市地图或实地调研获取的建筑物所属行业(机关、商场、饭店等)和用途类型(如居民楼、写字楼等),参照地方行业取水定额标准就能估算出建筑物内部的用水量。若缺乏相应的取水定额标准时,可以根据人均综合用水定额和平均人口密度等其他数据来间接获取单位面积的用水量,再计算出建筑内部的总用水量。

估算结果一方面可作为城市用水统计数据的补充参考资料;另一方面也有助于研究城市建筑分布格局、密度、容积率等对城市水资源消费的影响,研究城市内部水资源的流动,并为城市节水制度建设和相关规划等提供数据基础。

#### B. 建筑中水回用设计与规划

随着经济社会发展和城镇化的推进,我国的城市化水平不断提高。2008年我国平均城市化率达到45.7%,北京、上海等特大城市的城市化率高达80%以上。与此相应的是城镇规模的不断扩大和高楼大厦的兴建,高层建筑和大型居民小区成为许多城市发展的重点。这不仅对城市土地管理具有重大意义,对城市水资源管理也提出了新的要求。

大型建筑 and 建筑密集区是开发利用中水的良好场所,这些区域由于长时间聚集了众多人口,在消费大量的水资源的同时,也产生了大量的污水;从资源循环利用角度来看,这些污水经过净化处理后作为中水在冲刷、洗车、绿地浇灌等方面进行再利用。

正因如此,目前我国许多城市正在大力推行中水的开发利用。以北京为例,《北京市中水设施建设管理试行办法》和《关于加强中水设施建设管理的通告》中规定,“凡新建工程符合以下条件的必须建设中水设施:建筑面积2万平方米以上的宾馆、饭店、公寓等;建筑面积3万平方米以上的机关、科研单位、大专院校和大型文化、体

育等建筑;建筑面积5万平方米以上,或可回收水量大于150立方米/日的居住区和集中建筑区等”。

为了有效利用建筑中水,首先需要掌握建筑产生的污水——中水原水的规模以及建筑能够回用的中水规模,从而确定中水设施的规模与建设方案。而利用遥感技术可以高效、便捷地获取大范围的建筑信息,以此为基础来估算建筑中水原水量和可回用量,具体过程如下:

- 1) 根据前文所述方法,利用高分辨率遥感影像计算建筑物高度;并根据遥感图像或其他已有资料获取建筑物占地面积;
- 2) 计算建筑中水原水量

$$Q_Y = \sum a \cdot b \cdot H \cdot S \cdot q \quad (3)$$

$Q_Y$ : 中水原水量;

$a$ : 建筑物按给水量计算排水量的折减系数,一般取0.8~0.9<sup>[11]</sup>;

$b$ : 建筑物用水分项给水百分率,即沐浴、盥洗、洗衣、厨房、冲厕等各部分用水所占百分比,取值可以参照《建筑中水设计规范》(GB50336-2002)中的相关规定;

$H$ : 根据遥感影像估算的建筑物高度;

$S$ : 建筑占地面积;

$q$ : 单位建筑面积取水定额;

- 3) 计算中水可回用水量

$$Q_R = \sum c \cdot H \cdot S \cdot q \quad (4)$$

公式中的 $c$ 是建筑物可以利用中水的部位的给水百分率,目前以冲厕用水为主,取值可以参照《建筑中水设计规范》(GB50336-2002)中的规定;其他符号的含义同前。

对式(3)和式(4)计算结果影响较大的是参数 $q$ 的取值。参数 $q$ 取值首先应该依据国家、省、市的相关行业取水定额中的规定;没有相关规定或取水定额的核算单元不是建筑面积时,应该根据实地调查或当地有关统计资料获得,不能直接获取时可以根据人均综合用水定额与单位建筑面积人口数进行换算得到。

#### C. 特殊用水行业布局规划

上述建筑中水的计算方法不仅可以应用于该建筑中水回用设施的设计和规划,还可以应用于城市特殊用水行业的布局规划,例如城市洗浴行业和洗车业的联合布局规划等。

沐浴行业和洗车行业是以水作为最主要的服务载体和消费资源的公共服务行业,在水资源紧张的城市,沐浴和洗车行业作为特殊用水行业受到社会的广泛关注,面临着巨大的节水压力。以北京为例,2006年北京市沐浴场所约1500余家,用水量为150万 $m^3$ ;至2010年,北京沐浴场所发展到3000家左右,用水量约为500万 $m^3$ ,是2006



年用水量的 3 倍多。与此同时,城市洗车保有量和洗车用水也在迅速增加,有研究估算<sup>[12]</sup>,2010 年北京市洗车行业的用水量约为 532 万 m<sup>3</sup>,并呈持续增长的趋势。

事实上,沐浴企业的排水属于优质中水原水,是污水再利用的首选。沐浴排水经过简单净化处理之后就能满足市政杂用水的中水水质要求,可以用在绿地浇灌、街道清扫、冲厕、消防和洗车等。如果能对沐浴企业和洗车站点进行统一部署、布局,将沐浴企业的排水作为洗车站点的中水原水,那么就能大幅度降低洗车行业的新鲜水取水量,解决由于中水运输费用过高而导致的中水洗车发展受阻的问题。

因此,利用前文所述的遥感方法可以便捷地对城市主要中水来源行业(如洗浴行业等)用水户的布局及其用水量进行估算,掌握优质中水原水的分布情况;然后,结合可以利用中水的高耗水行业(如洗车业)的需水情况以及其他相关信息,可以对城市特殊用水行业用水户的布局进行统一规划。这样,一方面减少了特殊用水行业自来水或自备井水的取水量;另一方面,增加了城市中水利用量、降低了中水利用过程中的运输成本,为推广中水在城市中的应用提供了新的思路。

#### D. 供水能耗估算

遥感在城市水资源管理方面的另一个可能应用方向是帮助掌握城市建筑给水的能源消耗情况。

由于卫星遥感图像能够便捷地获取整个城市范围内的所有高层建筑的高度信息,利用这些信息以及能量转化相关的物理公式可以快速估算单个建筑或城市整体建筑自来水提升所需的理论能耗。在此基础上,可以分析高层建筑建筑发展对城市给水行业能耗的影响,探讨在城市水系统规划、设计和管理中有助于行业和城市节能降耗的途径和方法,促进水资源和能源的综合规划和管理的发展。

#### IV. 结论与讨论

利用高分辨率卫星遥感影像提取建筑物信息,包括建筑物的空间分布信息、高低、容积率等,成为城市遥感研究的一个热点,并被广泛应用于城市土地监测、居住环境评价、城市三维建模等方面。但是,在城市水资源需求管理中尚没有得到足够的重视和有效的利用。事实上,在利用高分辨率卫星遥感影像估算出建筑物高度和建筑面积等信息之后,可以对城市建筑物内部的用水量、中水原水生成量、可利用中水量、建筑给水能耗等进行快速估算,从而有助于掌握城市水资源的消费情况,有助于建筑中水设施的设计和以及可以利用中水的高耗水行业的布局规划,以及城市水系统的节能减排等。

本文仅就建筑遥感影像在水资源需求管理中的应用进行了初步的探讨,在具体的应用过程中可能会遇到一些问题,还有尚未考虑到的其它可能的应用方向,这些都需要进一步的研究和探索。

#### REFERENCES

- [1] Lique Li, Yanling Jiang, Yuansheng Chen, Information Processes of Water Demand Management: A Case Study on Water Quota Management of the Tertiary Industry in Beijing. Resources Science, Vol 31, pp.1722-1729, October 2009. (In Chinese).
- [2] Jiren Li. Remote Sensing and Development of Water Resources. Advances In Science And Technology Of Water Resources, Vol 19, pp.7-10, May 1999. (In Chinese).
- [3] Minggang Liu, Donghui Wan, Zhongguang Ji. Application Of Remote Sensing in Water Resources Management. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, Vol 36, pp.82-83, March 2008. (In Chinese).
- [4] Jingyuan Lu. Review on 30 years' achievement of remote sensing application in water resources. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Vol 6, pp.224-229, March 2008. (In Chinese).
- [5] Guojin He, Gang Chen, Xiaoyun He et al. Extracting Buildings Distribution Information of Different Heights in a City from the Shadows in a Panchromatic SPOT Image. Journal of Image and Graphics, Vol 6(A), pp.426-428, May 2001. (In Chinese).
- [6] Yusen Dong, Yunjun Zhan, Shuwen Yang. Extracting Buildings Distribution Information of Different Heights from the Shadows in High Resolution Images. Journal of Xianning Teachers College, Vol 22, pp.93-96, March 2002. (In Chinese).
- [7] Junfei Xie, Yanming Li. The Extraction of Building Distribution Information of Different Heights in a City from the Shadows in a IKONOS Image. Remote Sensing For Land & Resources, Vol 62, pp.4-6, April 2004. (In Chinese).
- [8] Haoping Qi. Study on Application of High Resolution Remote Sensing Data in Urban Traffic Plan. Nanjing: Southeast University, 2009. (In Chinese).
- [9] Jinye Li, lei Zhang, Bingfang Wu et al. Study on Extracting Building Density and Floor Area Ratio Based on High Resolution Image. Remote Sensing Technology and Application, Vol 22, pp.309-313, March 2007. (In Chinese).
- [10] Zhijuan Han. The Discussion Of The status And Measures Of Water Supply and Energy Efficiency Of Buildings In Our Country. Science & Technology Information, Vol 14, pp.119, 2009. (In Chinese).
- [11] GB 50336-2002. The Specifications Of Reclaimed Water System For Building Designing. (In Chinese).
- [12] Lique Li, Yuansheng Chen. The Water Analysis And Water-saving Countermeasures Of Car Washing Industry In Beijing City. Water & Wastewater Engineering, Vol 35, pp.218-221, 2009. (In Chinese).